

Produksi Gas hidrogen dari Limbah Alumunium dan Uji Daya Listrik dengan *Fuel Cell*

Yusraini Dian Inayati Siregar

Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
0852-16344105
Email : yuskimia@uinjkt.ac.id

Abstrak

Teknologi *Fuel Cell* adalah teknologi masa depan yang ramah lingkungan. Bahan baku untuk fuel cell adalah hidrogen. Produksi hidrogen dari limbah alumunium dan *storage* telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah alumunium (*alumunium foil* dan kaleng minuman) yang direaksikan dengan larutan beralkalin untuk menghasilkan hidrogen. Hidrogen yang dihasilkan sebanding dengan tekanan yang terukur yang diukur dengan *CASSY LAB Version 1.41*. Hasilnya adalah: a. Semakin tinggi konsentrasi NaOH (5 %, 10 % dan 15 %) semakin cepat reaksi produksi hidrogen berlangsung. b. Jumlah limbah alumunium yang berbeda (0,01 g, 0,05 g dan 0,10 g) kurang berpengaruh terhadap waktu reaksi jika konsentrasi NaOHnya sama. c. Temperatur yang dihasilkan berkisar antara 27 °C - 33,7 °C, semakin banyak jumlah alumunium yang direaksikan semakin tinggi temperatur yang dihasilkan. d. Daya listrik yang dihasilkan dari 0,10 gram *alumunium foil* adalah sebesar 45-51 watt dengan daya rata-rata 0,08 watt per detik. e. Daya listrik yang dihasilkan dengan kaleng Coca Cola adalah sebesar 12,13 watt dengan daya rata-rata 0,009 watt per detik.

Kata Kunci : Hidrogen, Limbah Alumunium, Fuel Cell, Larutan beralkalin

Abstract

Fuel Cell technology is the future technology and it's environmentally friendly. Raw material for fuel cells is hydrogen. Production of hydrogen from aluminum waste and electric power test fuel cell has been done. This study aims to utilize aluminum waste (aluminium foil and beverage cans) which reacted with alkaline solution to produce hydrogen. Hydrogen produced is proportional to the measured pressure which calculated by *CASSY LAB Version 1:41*. The results are: a. The higher the concentration of NaOH (5%, 10% and 15%) the faster the reaction of hydrogen production takes place. b. Different amount of aluminum waste (0.01 g, 0.05 g and 0.10 g) is less influential on the reaction time if the concentrations of NaOH are the same. c. The resulting temperature ranges between 27 °C - 33.7 °C, the more the amount of aluminum that reacted the higher the temperature generated. d. The electric power produced from 0.10 grams of aluminum foil is 45-51 watts with an average power of 0.08 watts per second. e. The electric power generated by the Coca Cola cans is 12.13 watts with an average of 0.009 watts per second.

Keywords : Hydrogen, Alumunium Waste, Fuel Cell, Alkaline Solution

1. PENDAHULUAN

Krisis energi yang melanda Indonesia dikarenakan karena jumlah penduduk yang semakin meningkat yang berpengaruh langsung terhadap konsumsi bahan bakar. Energi yang berasal dari fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga semakin menipis. Di sisi lain, isu lingkungan global yang menuntut tingkat kualitas lingkungan yang lebih baik, mendorong berbagai pakar energi untuk mengembangkan energi yang lebih ramah lingkungan dan mendukung keamanan pasokan berkesinambungan. Hidrogen sangat dimungkinkan menjadi alternatif bahan bakar masa depan. Proses produksi hidrogen dapat dilakukan dengan dua cara baik itu biologi maupun kimiawi.

Secara biologi (bioteknologi) adalah teknik pendayagunaan organisme hidup atau bagiannya untuk membuat atau memodifikasi suatu produk dan meningkatkan/ memperbaiki sifat organisme untuk penggunaan dan tujuan khusus seperti untuk pangan, farmasi dan energi (Miyamoto et al. 1997). Hal ini dilakukan Woodward et al. 2002 dengan memproduksi hidrogen menggunakan enzim melalui jalur fosfat pentosa dan enzim hidrogenase. Produksi hidrogen melalui fermentasi biomasa kayu tropika, hidrolisis gas metana, menggunakan metanol langsung (Liu et al. 2003). Proses fermentasi juga dilakukan Susilaningih et al. 2008 dengan menggunakan limbah biomasa kayu melalui dua langkah fermentasi, yaitu dengan mengkombinasikan konversi monomer hasil hidrolisa limbah biomasa kayu menjadi asam laktat melalui bakteri laktat (*Lactobacillus* sp) dan konversi laktat menjadi hidrogen dengan menggunakan bakteri fotosintetik.

Secara kimiawi dapat melalui elektrolisis seperti yang dilaporkan Salimy & Finahari 2008 dengan melakukan perbandingan produksi hidrogen dengan energi nuklir untuk dua buah teknologi proses produksi hidrogen yaitu proses elektrolisis dan steam reforming. Proses elektrolisis juga dilaporkan juga oleh Domen & Maeda 2006 dengan produksi hidrogen melalui elektrolisis air dengan reaksi fotokatalisis oksinitrida. Produksi hidrogen lain misalnya melalui dekomposisi metanol dengan

katalis $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Brown & Gulari 2004). Produksi hidrogen melalui dekomposisi metana menggunakan katalis berbasis Ni (Purwanto et al. 2005). Produksi hidrogen berbasis nuklir dilakukan oleh Sriyono 2008 dan Sutarno & Malik 2004 dengan menganalisis efisiensi energi nuklir dan energi listrik pada proses produksi hidrogen dengan elektrolisis air. Produksi hidrogen secara kimiawi yang lain adalah dengan menggunakan alumunium beralkalin untuk dijadikan *fuel cell* alumunium alkalin-udara. *Fuel cell* alumunium alkalin-udara adalah serangkaian anoda alumunium dalam larutan beralkalin dan gas oksigen berada di katoda yang akan menghasilkan energi listrik. *Fuel cell* berbasis alumunium alkalin-udara sangat ramah lingkungan karena produk sampingnya adalah air dan bahan kimia (aluminum oksida (Al_2O_3) dan aluminum hidroksida $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dibutuhkan industri pemurnian air dan industri kertas serta alat-alat elektronik (Kulakov & Ross 2007).

Penelitian ini mencoba untuk memanfaatkan limbah *aluminum foil* (AF) atau pembungkus makanan dan limbah kaleng minuman (KM) sebagai sumber dari alumunium untuk produksi hidrogen. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari Siregar (2010) mengenai pemanfaatan limbah AF dan limbah alumunium dari KM untuk produksi gas hidrogen, tetapi hanya dihitung tekanan hidrogennya saja yang setara dengan jumlah hidrogen dalam satuan gram. Produksi hidrogennya adalah sebesar 0,006 gram dari 0,05 gram limbah aluminium AF. Untuk itulah dilakukan penelitian produksi gas hidrogen dari limbah AF dengan menggunakan katalis NaOH, sampai menghasilkan daya listrik dan efisiensinya. Produksi gas hidrogen melalui jalur ini selain memanfaatkan limbah di lingkungan sekitar juga merupakan energi yang mudah dikonversikan menjadi listrik dan bahan bakar, aman untuk lingkungan, karena tidak menyisakan limbah beracun, dan bersih, hanya air dan bahan kimia seperti aluminium hidroksida $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dapat digunakan kembali.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada Maret-Nopember 2011 di Laboratorium Kimia Pusat Laboratorium Terpadu (PLT) UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah serangkaian alat gelas, serangkaian alat *fuel cell* dan Software *CASSY LAB Version 1.41*. Bahan yang digunakan adalah Limbah aluminium terdiri dari *aluminum foil* (AF), kaleng minuman (KM), NaOH

Optimasi Konsentrasi minimum NaOH terhadap lamanya reaksi produksi hidrogen.

Larutan NaOH dibuat dalam berbagai konsentrasi mulai dari 0,5 %, 1 %, 2 %, 4 %, 8 % dan 16 % Kemudian larutan NaOH sebanyak 5 mL masing-masing larutan direaksikan dengan limbah AF seberat 0,1 g. Gas hidrogen yang terbentuk sebanding dengan tekanan yang terukur. Volume tempat reaksi adalah sebesar 50 mL. Waktu yang dibutuhkan untuk proses reaksi tersebut dicatat. Gas hidrogen yang dihasilkan diukur tekanannya dengan *CASSY LAB Version 1.41*.

Pengaruh Jumlah AF terhadap Lamanya Reaksi dan Produksi Hidrogen dengan variasi konsentrasi NaOH (5 %, 10 % dan 15 %)

Larutan NaOH dengan konsentrasi masing-masing 5 %, 10 % dan 15 % sebanyak 25 mL masing-masing direaksikan dengan limbah aluminium foil sebesar 0,01 g , 0,05 g dan 0,10 g. Gas hidrogen yang terbentuk sebanding dengan tekanan yang terukur. Volume tempat reaksi adalah sebesar 130 mL. Waktu yang dibutuhkan untuk proses reaksi tersebut dicatat. Gas hidrogen yang dihasilkan diukur tekanannya dengan *CASSY LAB Version 1.41*. Dilakukan pengulangan tiga kali untuk setiap pengukuran.

Uji Produksi Hidrogen dengan Limbah Alumunium yang lain (KM dengan merek Coca Cola)

Larutan NaOH dengan konsentrasi masing-masing 5 %, 10 % dan 15 % sebanyak 25 mL masing-masing direaksikan dengan

limbah aluminium kaleng minuman (merek Coca Cola dan A&W) sebesar 0,01 g , 0,05 g dan 0,10 g. Gas hidrogen yang terbentuk sebanding dengan tekanan yang terukur. Volume tempat reaksi adalah sebesar 130 mL. Waktu yang dibutuhkan untuk proses reaksi tersebut dicatat. Gas hidrogen yang dihasilkan diukur tekanannya dengan *CASSY LAB Version 1.41*. Dilakukan pengulangan tiga kali untuk setiap pengukuran.

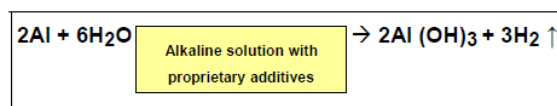
Uji Daya Listrik yang dihasilkan dengan Fuel Cell menggunakan AF

Larutan NaOH dengan konsentrasi masing-masing 5 %, 10 % dan 15 % sebanyak 25 mL masing-masing direaksikan dengan limbah AF sebesar 0,01 g , 0,05 g dan 0,10 g. Gas hidrogen yang terbentuk sebanding dengan tekanan yang terukur. Volume tempat reaksi adalah sebesar 130 mL. Daya listrik yang dihasilkan diukur menggunakan *CASSY LAB Version 1.41*. Dilakukan pengulangan tiga kali untuk setiap pengukuran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi Konsentrasi minimum NaOH terhadap Lamanya Reaksi Produksi Hidrogen.

Pemilihan NaOH sebagai reaktan dalam produksi hidrogen ini adalah hasil penelitian pendahuluan peneliti yang menunjukkan bahwa NaOH dapat bereaksi dengan limbah aluminium AF dalam waktu yang cepat. Reaktan lain telah diuji, diantaranya KOH, H₂SO₄ dan HCl, tetapi tidak memberikan hasil yang optimal seperti NaOH (Siregar, 2010). Optimasi konsentrasi NaOH ini dilakukan agar peneliti mendapatkan data konsentrasi minimum supaya reaksi produksi hidrogen berlangsung secara efisien. Konsentrasi NaOH yang dipilih dimulai dari 0,5 %, 1 %, 2 %, 4 %, 8 % dan 16 %.. Kulakov & Ross (2007) melaporkan bahwa produksi gas hidrogen menggunakan larutan beralkalin yaitu larutan NaOH dan KOH. Reaksi yang terjadi adalah (Gambar 1):



Gambar 1. Produksi hidrogen dari alumunium dan air dalam larutan beralkalin (Kulakov & Ross 2007)

Dari tabel 1 dapat dilihat, bahwa agar reaksi produksi hidrogen dari limbah alumunium berlangsung, maka konsentrasi NaOH minimum adalah diantara 4 % dan 8 %. Oleh karena itu untuk langkah selanjutnya peneliti melakukan reaksi pada konsentrasi antara 4 % dan 8 %. Kondisi reaksi volume NaOH 5 mL dan limbah AF sebesar 0,1 gram.

Tabel 1. Konsentrasi minimum NaOH agar reaksi produksi hidrogen berlangsung.

Konsentrasi NaOH (%)	Lamanya Reaksi (detik)		
	I	II	III
8	202	197	231
4	lebih dari 4 jam		
2			
1			
0,5			

Pengaruh Jumlah AF terhadap Lamanya Reaksi dan Produksi Hidrogen dengan variasi konsentrasi NaOH (5 %, 10 % dan 15 %)

Hasil sebelumnya menunjukkan bahwa produksi hidrogen akan berlangsung secara efisien, dilihat dari waktu, maka konsentrasi minimum adalah diantara 4 % dan 8 %. Berdasarkan hasil ini maka variasi konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 5 %, 10 % dan 15 % dengan jumlah NaOH sebesar 25 mL serta volume tempat berlangsungnya reaksi adalah 130 mL. Jumlah Limbah alumunium dalam hal ini adalah AF adalah 0,01 g, 0,05 g dan 0,1 g.

Gambar 2 adalah hasil produksi hidrogen dengan variasi jumlah *alumunium foil* (0,01 g, 0,05 g dan 0,10 g) terhadap konsentrasi NaOH 5 %, 10 % dan 15 %.

Terlihat bahwa produksi hidrogen dengan variasi jumlah limbah alumunium terhadap konsentrasi NaOH tidak memberikan perbedaan yang berarti. Hal ini terlihat pada Gambar 2, grafiknya cenderung konstan, baik itu di konsentrasi NaOH 5 %, 10 % dan 15 %. Lain halnya dengan produksi hidrogen terhadap

jumlah limbah alumunium, hasilnya adalah semakin besar jumlah limbah alumunium yang diberikan semakin besar pula jumlah hidrogen yang dihasilkan dan ini secara stoikiometri adalah benar.

Langkah selanjutnya adalah mempelajari waktu berlangsungnya produksi hidrogen dengan adanya variasi jumlah limbah alumunium (0,01 g, 0,05 g dan 0,1 g) dan variasi konsentrasi NaOH (5 %, 10 % dan 15 %).

Gambar 3 menunjukkan bahwa ada kecenderungan semakin tinggi konsentrasi NaOH (5%,10%,15%) semakin cepat reaksi berlangsung. Langkah selanjutnya, untuk efisiensi bahan NaOH, digunakan NaOH dengan konsentrasi 5 %. Alasannya adalah jika konsentrasi NaOH kurang dari 5 % reaksi berjalan sangat lambat. Sedangkan untuk hasil yang lebih cepat dapat digunakan konsentrasi NaOH yang lebih tinggi dari 5 %.

Uji Produksi Hidrogen dengan Limbah Alumunium yang lain (KM dengan merek *Coca Cola*)

Secara umum hasil penelitian produksi gas hidrogen menggunakan limbah alumunium KM (Merek *Coca Cola*) memberikan hampir sama dengan menggunakan AF. Gambar 4 menunjukkan bahwa produksi hidrogen dengan variasi jumlah limbah alumunium minuman kaleng terhadap konsentrasi NaOH tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Grafiknya cenderung konstan, baik itu di konsentrasi NaOH 5 %, 10 % dan 15 %.

Lain halnya dengan produksi hidrogen terhadap jumlah limbah alumunium, hasilnya adalah semakin besar jumlah limbah alumunium yang diberikan semakin besar pula jumlah hidrogen yang dihasilkan dan ini secara stoikiometri adalah benar (Gambar 5).

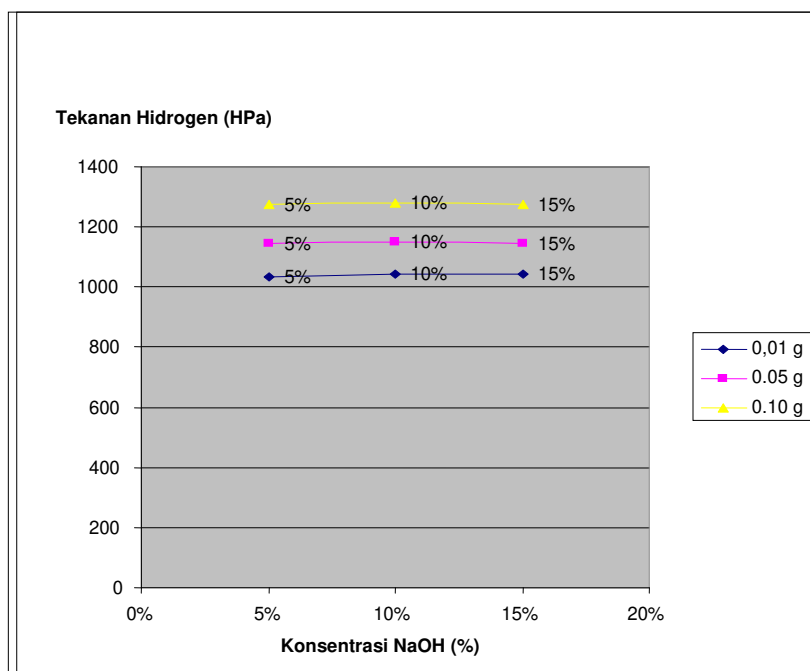
Perbedaan produksi hidrogen dengan menggunakan limbah alumunium bersal dari AF dan minuman kaleng adalah waktu berlangsungnya reaksi. Waktu yang digunakan AF lebih sedikit daripada waktu yang dibutuhkan oleh limbah alumunium berasal dari kaleng minuman. Untuk menghasilkan gas hidrogen dari 0,1 gram alumunium foil dengan NaOH 15 % dibutuhkan waktu rata-rata 274,3 detik atau 4 menit 34 detik sedangkan dengan jumlah yang sama dari kaleng coca cola

dibutuhkan waktu rata-rata 1826,7 detik atau 30 menit 26 detik.

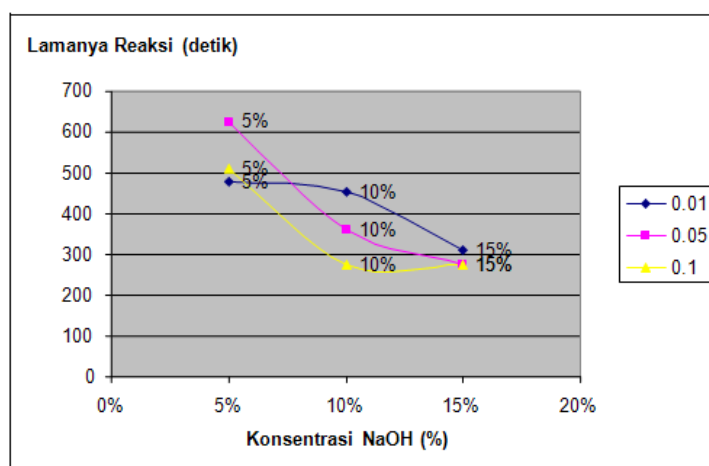
Sebelum uji daya listrik dilakukan, maka perlu dilakukan studi pustaka kadar aluminium dalam limbah aluminium untuk mengetahui apakah secara stoikiometri jumlah aluminium sebagai reaktan telah sesuai dengan teori, atau tidak. Rabah (2003) telah melakukan analisa

kadar aluminium dari limbah aluminium yang berasal dari kaleng minuman bekas dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

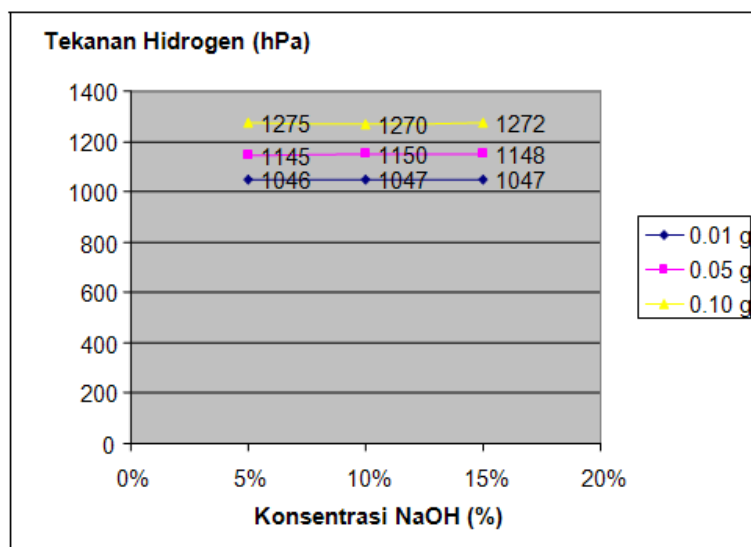
Tabel 2 menunjukkan bahwa memang benar dalam limbah aluminium, khususnya limbah aluminium berasal dari minuman kaleng sebagian besar adalah aluminium, hanya sebagian kecil adalah Mg, Sn, Zn, Fe, Ni, Si dan



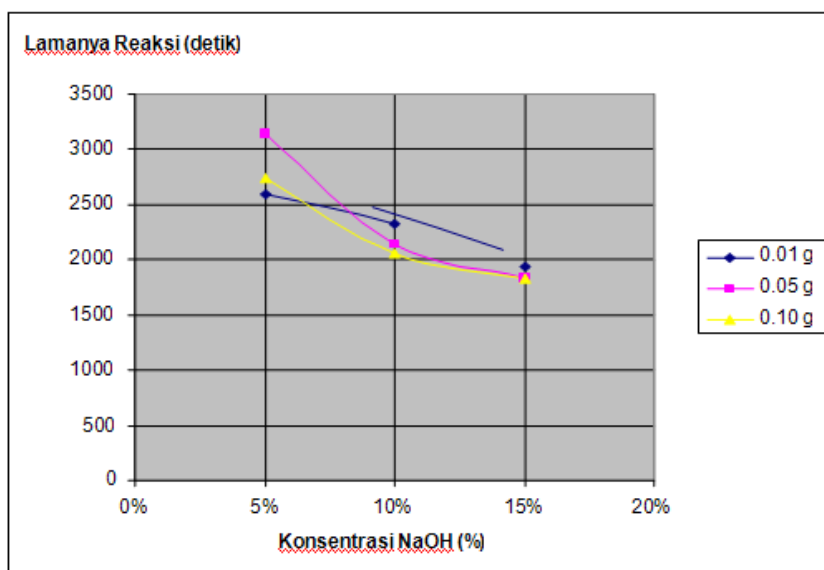
Gambar 2. Produksi hidrogen dengan variasi berat Al (0.01 g, 0.05 g dan 0.10 g) menggunakan AF terhadap konsentrasi NaOH 5%, 10% dan 15%



Gambar 3. Produksi hidrogen dengan variasi konsentrasi NaOH terhadap lamanya reaksi menggunakan *aluminium foil*



Gambar 4. Produksi hidrogen dengan variasi berat limbah alumunium KM terhadap konsentrasi NaOH



Gambar 5. Produksi hidrogen dengan variasi konsentrasi NaOH terhadap lamanya reaksi menggunakan KM merek *Coca Cola*

Tabel 2. Komposisi kimia dari kaleng minuman bekas (Rabah 2003).

UBCs	Weight (g)		Metal content (wt.%)							
	Coated	Decoated	Al	Mg	Sn	Zn	Fe	Ni	Si	Others
Lid	3.45	3.40	92.87	5.31	1.28	Nil	0.30	Nil	0.13	0.10
Body	28.18	28.0	92.88	3.12	0.95	0.16	2.52	0.12	0.07	0.18
Total	31.63	31.40	92.98	3.35	0.97	0.18	2.27	0.17	0.06	0.02

Tabel 3. Daya listrik yang dihasilkan dengan *Fuel Cell* menggunakan AF

Percobaan	Berat AF (gram)	NaOH 5 % 50 mL	NaOH 10 % 50 mL	NaOH 15 % 50 mL
1	0,1	46,18 watt dlm 555 detik	44,51 watt dlm 534 detik	48,39 watt dlm 555 detik
2	0,1	45,60 watt dlm 539 detik	44,59 watt dlm 565 detik	50,47 watt dlm 586 detik
3	0,1	43,30 watt dlm 543 detik	46,3 watt dlm 566 detik	54,11 watt dlm 646 detik
	Rata-rata	45,00 watt dlm 545,7 detik	45,1 watt dlm 555 detik	50,99 watt dlm 595,7 detik
	Rata-rata/detik	0,082 watt/detik	0,081 watt/detik	0,086 watt/detik

Tabel 4. Daya listrik yang dihasilkan dengan *Fuel Cell* menggunakan limbah alumunium KM Merek *Coca Cola*

Percobaan	Berat Alumunium Foil (gram)	NaOH 5 % 50 mL	NaOH 10 % 50 mL	NaOH 15 % 50 mL
1	0,1	-	-	12,35 watt dlm 897 detik
2	0,1	-	-	11,39 watt dlm 2146 detik
3	0,1	-	-	12,66 watt dlm 943 detik
	Rata-rata	-	-	12,13 watt dlm 1328,7 detik
	Rata-rata/detik	-	-	0,009 watt/detik

lainnya (Rabah 2003). Hal ini dapat menjadi acuan bahwa limbah alumunium ini mempunyai potensi besar sebagai sumber bahan bakar alternatif khususnya dengan teknologi *fuel cell*.

Uji Daya Listrik yang dihasilkan dengan *Fuel Cell* menggunakan *Alumunium Foil*

Uji daya listrik ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar daya (watt) yang dihasilkan oleh limbah alumunium dan tentunya sebagai aplikasi dari produksi hidrogen. Hasil uji daya listrik menggunakan limbah alumunium yang diuji adalah yang berasal dari AF dapat dilihat pada tabel 3.

Hasil percobaan menunjukan daya listrik yang dihasilkan dari 0,1 gr AF dihasilkan listrik 45-51 watt dengan daya 0,08 watt per detik. Konsentrasi NaOH tidak begitu berpengaruh dalam daya listrik yang dihasilkan, namun jumlah alumunium sangat berpengaruh, untuk

jumlah alumunium di bawah 0,1 gram yaitu 0,05 gram dan 0,01 gram daya listrik yang dihasilkan sangat kecil dan cenderung tidak terukur. Hal ini disebabkan karena tekanan gas hidrogen yang dihasilkan sangat kecil, sehingga belum cukup untuk melewati membran *fuel cell* dan menghasilkan listrik.

Sebagai pembandingan, uji daya listrik juga dilakukan dengan menggunakan limbah alumunium berasal dari kaleng minuman. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4. Uji daya listrik menggunakan kaleng coca cola adalah listrik yang dihasilkan dayanya lebih kecil dibandingkan dengan AF pada jumlah yang sama, Hal ini disebabkan karena reaksi kaleng coca cola menghasilkan hidrogen sangat lambat sehingga tekanan yang masuk ke dalam membran *fuel cell* sedikit demi sedikit akibatnya daya listrik yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan AF. Uji

daya listrik menggunakan kaleng *Coca Cola* hanya menggunakan NaOH dengan konsentrasi terbesar yaitu 15 %. Hal ini dilakukan karena reaksi yang sangat lambat dan dengan data ini saja peneliti dapat membandingkan daya listrik yang dihasilkan limbah alumunium yang berasal dari AF dan dari KM.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Semakin tinggi konsentrasi NaOH (5 %, 10 % dan 15 %) semakin cepat waktu (menit) reaksi produksi hidrogen berlangsung.
2. Jumlah limbah alumunium yang berbeda (0,01 g, 0,05 g dan 0,10 g) kurang berpengaruh terhadap waktu (menit) reaksi jika konsentrasi NaOHnya sama.
3. Temperatur yang dihasilkan berkisar antara 27 °C - 33,7 °C, semakin banyak jumlah alumunium yang direaksikan semakin tinggi temperatur yang dihasilkan.
4. Daya listrik yang dihasilkan dari 0,10 gram AF adalah sebesar 45-51 watt dengan daya rata-rata 0,083 watt per detik
5. Daya Listrik rata-rata yang dihasilkan dengan KM Coca Cola adalah sebesar 12,13 watt dengan daya rata-rata 0,009 watt per detik.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut khusus untuk desain *fuel cell*, karena teknologi *fuel cell* yang peneliti gunakan adalah model yang digunakan dalam skala laboratorium.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian UIN Syarif Hidayatullah Jakarta yang telah memberikan dana untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada Kepala Pusat Laboratorium Terpadu UIN Syarif Hidayatullah Jakarta yang telah mengizinkan tempat untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Brown, J.C., Gulari, E., 2004, *Hydrogen Production from Methanol Decomposition over Pt/Al₂O₃ and Ceria Promoted Pt/Al₂O₃ Catalysts*, Catalysis Communications 5, 431-436
2. Kulakov, E., Ross, A.F., 2007, *Alumunium Energi for Fuel Cells: Using an Energi Source that is Both Plentiful and Fully Recyclable Will Dramatically Enhance its Utilization and Provide Benefits Globally.*, ALTEK FUEL GROUP.INC
3. Liu, X.Z., Liu, C.Z., Eliasson, B., 2003, *Hydrogen Production from Methanol Using Corona Discharges*, Chinese Chemical Letters Vol. 14, No. 6, 631-633
4. Salimy, D.H., Finahari, I.N., 2008, *Perbandingan Produksi Hidrogen dengan Energi Nuklir Proses Elektrolisis dan Steam Reforming*, Prosiding: Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176
5. Miyamoto, K., Hallenbeck, P.C., Benemann, J.R., Appl Environ Microbiol. 37 (1997) 454-458.
6. Purwanto, W.W., Nasikin, M., Saputra, E., Song, L., 2005, *Production Hidrogen and Nanocarbon via Methane Decomposition using Ni-based Catalysts. Effect ao Acidity and Catalyst Diameter*, Makara, Teknologi, Vol. 9, No. 2 48-52
7. Sriyono, 2008, *Teknologi Proses Produksi Hidrogen Berbasis Energi Nuklir*, Sigma Epsilon, ISSN 0853-9103
8. Rabah, M.A., 2003, *Preparation of Alumunium-Magnesium Alloys and some Valueable Salts from Used Beverage Cans*, Elsevier Science, 173-182
9. Woodward, J., Heyer, N.I., Getty, J.P., O'Neil, H.M., Pinkhassik, E., Evans, B.R., 2002, *Efficient Hydrogen Production using Enzymes of the Pentose Phosphate Pathway*, Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review NREL/CP-610-32405
10. Siregar, YDI., 2010, *Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium*, Valensi, Vol. 2 No.1, 362-36